

В.В. Дмитриева, П.Е. Сизин

# КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ И МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНОГО ГРУЗОПОТОКА, ПОСТУПАЮЩЕГО НА СБОРНЫЙ КОНВЕЙЕР

**Аннотация.** Рассмотрена задача о формировании грузопотока на магистральном конвейере, на который поступает уголь от двух независимых забойных конвейеров. Для получения математического описания процесса поступления груза на конвейер этот процесс представлен в виде марковского случайного процесса. В этом случае отсутствие и наличие груза можно назвать "состояниями системы", и получить зависимость от времени вероятностей нахождения объекта исследования в этих состояниях. В статье для решения этой задачи была использована система уравнений Колмогорова. Было проведено несколькими способами моделирование в Matlab дискретного шахтного грузопотока, оценены недостатки и достоинства каждого метода. Моделировались идентичные потоки, однако указан способ снятия этого ограничения. Проведено моделирование суммарного грузопотока. Полученные результаты могут быть применены для синтеза управляющей системы, регулирующей скорость магистрального конвейера в зависимости величины входного грузопотока. Регулирование скорости движения полотна ленты позволит использовать конвейерный транспорт более эффективно за счет снижения времени холостого пробега и меньшего износа комплектующих.

**Ключевые слова:** ленточный конвейер, марковский случайный процесс, стохастический грузопоток, моделирование, вероятностные характеристики.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-145-155

Конечной целью работы горнодобывающего предприятия является увеличение объемов добычи полезного ископаемого при одновременном уменьшении затрат. Значительный вклад в итоговую стоимость угля вносит его транспортировка. Одной из актуальных проблем горных предприятий является проблема повышения экономической эффективности эксплуатации конвейерных установок. В настоящее время, при сплошной конвейеризации доставки угля из забоя, магистральные конвейеры используются по производительности примерно на 50–70%, и по времени работы на 60–70%. Это приводит к неоправданным затратам на электроэнергию, уменьшению сроков службы ленты и роликов и, как следствие, к повышению стоимости

транспортировки. Невысокая степень использования конвейеров объясняется, главным образом, значительной неравномерностью поступающих на них грузопотоков, которые носят случайный характер [1].

Высокопроизводительный конвейерный транспорт, который обычно рассчитывается по максимальной производительности комбайнов или других выемочных машин, оказывается значительно недогруженным и в некоторые моменты даже вынужден работать вхолостую. Это приводит к резкому снижению пропускной способности подземного транспорта и значительному увеличению стоимости доставки груза и даже угрозе аварии при сильной неравномерности грузопотока [2]. Особенную актуальность эта проб-

лема приобретает в случае конвейеров длиной в несколько километров, имеющих изгибы на пути следования [3]. Те же проблемы сохраняют значимость и в случае трубопроводных конвейеров [4].

Один из путей решения этой проблемы состоит в согласовании режимов работы ленточного конвейера с параметрами поступающего на него грузопотока, например, путем автоматического управления скоростью движения ленты конвейера в зависимости от текущей величины поступающего на него грузопотока, как предложено в работах Г.И. Солода, Л.Г. Шахмейстера, В.Г. Дмитриева, Р.В. Мерцалова и др. Регулирование скорости позволит снизить износ ленты, расход электроэнергии и повысить производительность конвейерного транспорта. Для этого необходимо создание математической модели грузопотоков в качестве входного сигнала на конвейерную ленту.

Неравномерность грузопотоков зарождается в забое. Количество угля, добываемого за тот или иной промежуток времени, колеблется в больших пределах. Размах этих колебаний, зависящий от комплекса факторов технического, технологического, организационного и геологического порядка, и определяет величину неравномерности грузопотоков.

С середины 60-х годов прошлого столетия при исследовании и описании грузопотоков начали использовать [5–8] понятие вероятностного процесса, что позволило получить более полное представление об их характере.

Многочисленные наблюдения [5, 7–10], выполненные на шахтах и карьерах, показали, что грузопоток представляет собой прерывистый процесс, который состоит из многократно чередующихся в течение смены периодов поступления полезного ископаемого и его отсутствия, причем длительность этих периодов случайна. Отсутствие груза на конвейере

бывает связано с остановкой горной машины для осмотра, выполнения различных технологических операций на концевых участках забоя, устранения технических неисправностей и т.д.

Были исследованы промежутки непрерывного поступления груза на ленточный конвейер и отсутствия его за периоды рабочих смен, и было установлено [5, 8, 10], что они также носят случайный характер и распределение этих промежутков допустимо аппроксимировать показательным законом с плотностью распределения

$$f_n(t) = \mu e^{-\mu t}, \quad (1)$$

где  $\mu = 1/T_n$  — интенсивность поступления грузопотока;  $T_n$  — среднее время поступления грузопотока.

Распределение времени отсутствия грузопотока имеет также экспоненциальное распределение с плотностью

$$f_o(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где  $\lambda = 1/T_o$  — интенсивность отсутствия грузопотока;  $T_o$  — среднее время отсутствия грузопотока.

Допустим, что грузопоток, поступающий из забоя, может находиться в двух состояниях — наличие груза и его отсутствие. Пусть 0 соответствует отсутствию грузопотока, 1 — его наличию. В случайные моменты времени происходит переход из одного состояния в другое, причем переход этот — мгновенный. Подобные допущения использованы в работах [6, 11–13]. Тогда можно считать грузопоток случайным процессом с дискретными состояниями [14], а поскольку для каждого момента времени  $t$  вероятность любого состояния системы в будущем зависит только от ее состояния в настоящем и не зависит от того, как система пришла в это состояние, то такой процесс является марковским процессом с непрерывным временем. Длительность состояния  $S_0 = 0$  описывается экспо-

ненциальным распределением с параметром  $\lambda$ , а  $S_1 = 1$  — экспоненциальным распределением с параметром  $\mu$ . Математические ожидания длительности этих состояний есть соответственно  $1/\lambda$  и  $1/\mu$ .

Поскольку эти состояния чередуются, очевидно, что вероятность «нуля» равна

$$\frac{1/\lambda}{1/\lambda + 1/\mu} = \frac{\mu}{\lambda + \mu},$$

вероятность «единицы»  $\frac{\lambda}{\lambda + \mu}$ .

Математическое ожидание такой случайной величины равно

$$M(S(t)) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu},$$

дисперсия

$$D(S(t)) = \frac{\lambda\mu}{(\lambda + \mu)^2}.$$

Удобно представить такой процесс в виде графа, вершинами которого будут состояния системы, а дугами — переходы из одного состояния в другое и каждый переход характеризуется вероятностью перехода  $P_{ij}$ . Для рассматриваемой системы граф переходов представлен на рис. 1.

Зависимость вероятностей состояний системы от времени может быть получена из системы уравнений Колмогорова [15]. Обозначая через вероятность  $p(t)$  «единицы», а через  $q(t)$  — вероятность «нуля», можем записать:

$$\begin{cases} \frac{dq(t)}{dt} = -\lambda q(t) + \mu p(t) \\ \frac{dp(t)}{dt} = \lambda q(t) - \mu p(t) \end{cases}. \quad (3)$$

Его общее решение относительно  $q(t)$

$$q(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + Ce^{-(\lambda + \mu)t}. \quad (4)$$

Отметим два частных случая, которые только и понадобятся в дальнейшем. Если в начальный момент времени задано условие  $S(0) = 0$ , то есть гру-

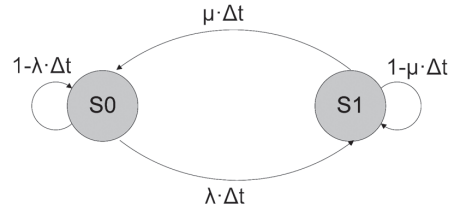


Рис. 1. Граф переходов

Fig. 1. Transition graph

зопоток отсутствует, то вероятность его отсутствия:

$$q_-(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} - \frac{\mu}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}.$$

В случае  $S(0) = 1$ , получается .

Отметим, что обе эти функции в пределе  $t \rightarrow +\infty$  стремятся к вероятности «нуля».

Определим также вероятности «единицы»  $p_-(t) = 1 - q_-(t)$  и  $p_+(t) = 1 - q_+(t)$ .

С помощью введенных функций можно построить корреляционную функцию процесса [16]:

$$R(\tau) = \frac{\lambda\mu}{(\lambda + \mu)^2} e^{-(\lambda + \mu)|\tau|}, \quad (5)$$

где  $\tau = t_2 - t_1$  и использована четность корреляционной функции по  $\tau$ .

В.В. Брагиным, А.Л. Шевелевым, Л.Д. Ларичкиным [7] были выполнены исследования по изучению грузопотоков из комплексно-механизированных забоев на шахте «Распадская» объединения «Кузбассуголь». В.М. Прокудой, Ю.А. Мишанским, С.Н. Проценко [10] проводились исследования и оценка грузопотоков на магистральном конвейерном транспорте шахты «Павлоградская». Работы выполнялись с целью определения параметров транспортных средств для повышения эффективности магистрального конвейерного транспорта. Авторами установлены законы распределения и параметры средней длительности одного поступления грузопотока и длительности отсутствия грузопотока.

Воспользуемся данными этих авторов для проведения компьютерного модели-

рования. Пусть при нормальной работе лав средняя длительность поступления грузопотока изменяется от 11 до 17 мин; средняя продолжительность перерыва 7...12 мин. При доработке лав средняя длительность поступления грузопотока снижается до 7,4 мин.

Согласно (1) и (2) параметры законов распределения средней величины длительности для времени поступления грузопотока будут равны  $\mu = 1/T_n = 1/14 = 0,07$ ,  $\lambda = 1/T_o = 1/9,5 = 0,1$ . Плотность распределения длительности поступления грузопотока  $f_n(t) = 0,07e^{-0,07t}$ , а плотность распределения длительности отсутствия грузопотока  $f_o(t) = 0,1e^{-0,1t}$ .

Моделирование такой системы проведем в ППП Matlab. Рассмотрим два способа моделирования.

Первый способ моделирования основан на следующем факте. Если для белого шума задать некоторое критическое значение уровня сигнала, то длительности периодов, в течение которых уровень сигнала находится выше или ниже заданного значения, имеют экспоненциальное распределение. При моделировании белого шума компьютерными средствами получается так называемый дискретный белый шум. Генератор случайных чисел через равные промежутки времени выдает случайные числа, которые и есть значения моделируемого сигнала. Поскольку корреляционная функ-

ция белого шума есть дельта-функция, значения сигнала естественно брать независимым от предыдущих значений. Если распределение сигнала по интенсивности остается неизменным во времени, неизменна вероятность превышения этим сигналом заданного порога, т.е. вероятность нахождения дискретного множителя грузопотока в состоянии «единица». Таким образом, получаем стационарный марковский процесс с двумя состояниями. В этом случае длительности  $S_o$  и  $S_1$  имеют экспоненциальное распределение.

Компьютерное моделирование производилось в системе SIMULINK, входящей в пакет прикладных программ MATLAB. Схема моделирования включает в себя источник «белого шума», мощность которого равна единице, и элемент, реализующий функцию «ограничения». Параметрами блока Constant задается критическое значение уровня сигнала для того чтобы обеспечить заданный параметр экспоненциального распределения. Время моделирования 120 мин. Схема и результаты моделирования представлены на рис. 2 и рис. 3.

Проверим полученный результат на соответствие экспоненциальному закону распределения интервалов времени поступления и отсутствия грузопотока:

$$f_n(t) = \mu e^{-\mu t}, f_o(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

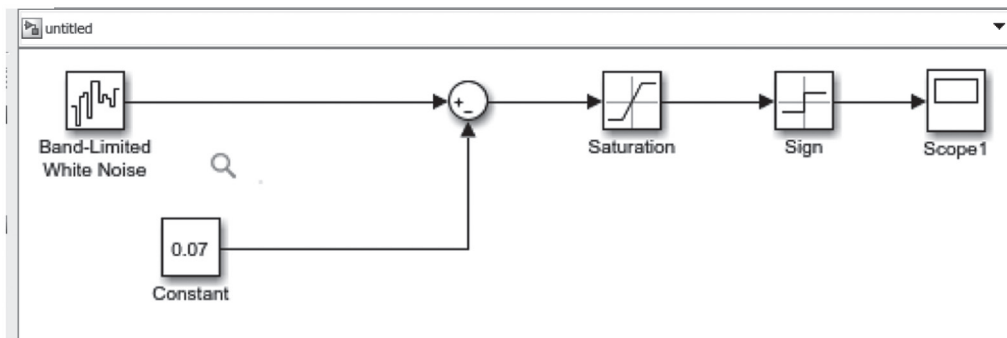


Рис. 2. Схема моделирования грузопотока

Fig. 2. Load flow simulation scheme

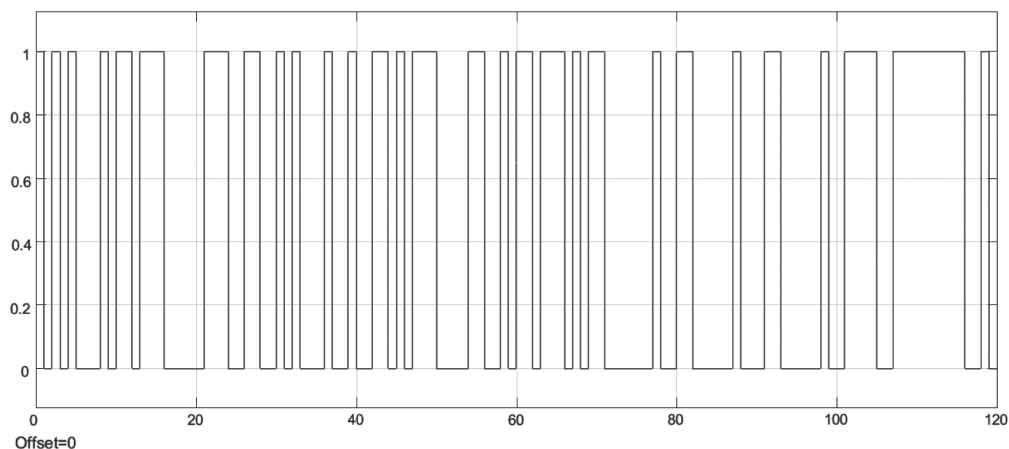


Рис. 3. Результаты моделирования грузопотока  
Fig. 3. Load flow simulation results

где  $\mu = 1/T_{\text{п}}$ ,  $\lambda = 1/T_0$  — интенсивность поступления и отсутствия грузопотока.

Сложив интервалы поступления грузопотока  $T_{\text{п}}$ , получим общее время поступления грузопотока в минутах за 2 ч:

$$T_{\text{п}\Sigma} = \sum_{i=1}^{29} T_{\text{п}i} = 51 \text{ мин.}$$

Данный результат удовлетворяет коэффициенту машинного времени  $K_{\text{М}} = 0,3..0,4$ . В нашем случае  $K_{\text{М}} = 0,41$ .

Для статической обработки результатов увеличим время моделирования и представим гистограмму распределе-

ния случайных длительностей поступления грузопотока.

Далее, используя критерий Пирсона, проверим гипотезу о том, что случайная величина  $T_{\text{п}}(t)$  имеет показательное распределение (рис. 4).

В результате обработки результатов моделирования грузопотока было получено эмпирическое распределение, приведенное в таблице. При уровне значимости 0,05 гипотеза о том, что интервалы поступления грузопотока распределены по показательному закону, принимается по критерию  $\chi^2$ .

Длительность интервала поступления	0–2	2–4	4–6	6–8	8–12
Количество реализаций	79	23	11	3	1

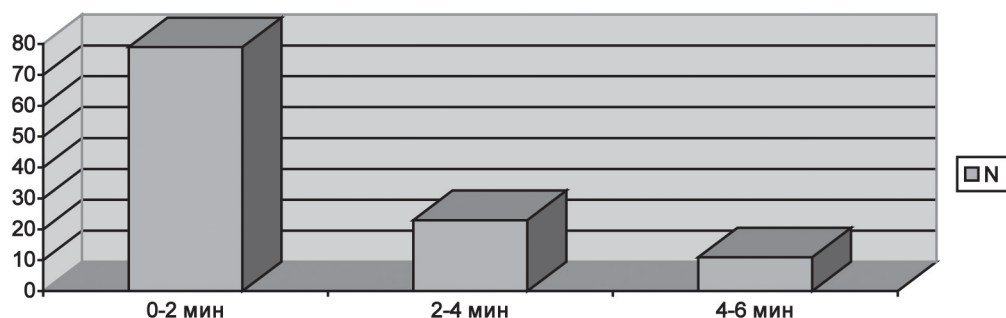


Рис. 4. Диаграмма распределения случайных длительностей  $T_{\text{п}}$   
Fig. 4. Random duration diagram

Второй способ основан на возможности создавать программы, написанные на языке Matlab, которые называются m-файлом. Далее мы согласуем работу программы, имитирующей грузопоток, со схемой моделирования в Simulink. Такой способ применялся в работах [12–13].

Наличие грузопотока из забоя — это состояние  $S_1$ , отсутствие грузопотока —  $S_0$ . Длительности пребывания в каждом из этих состояний — величины случайные, распределенные по экспоненци-

альному закону с параметрами  $\lambda$  и  $\mu$ . В языке Matlab существует специальная функция *exprnd*, позволяющая имитировать случайную величину, распределенную по экспоненциальному закону. Используя дополнительные счетчики времени  $t_1$  и  $t_0$ , преобразуем величину выходного сигнала функции *exprnd* в длительности пребывания системы в состоянии  $S_1$  и  $S_0$ . Алгоритм этой программы представлен на рис. 5.

Схема моделирования в Simulink представлена на рис. 6, где блоком Inter-

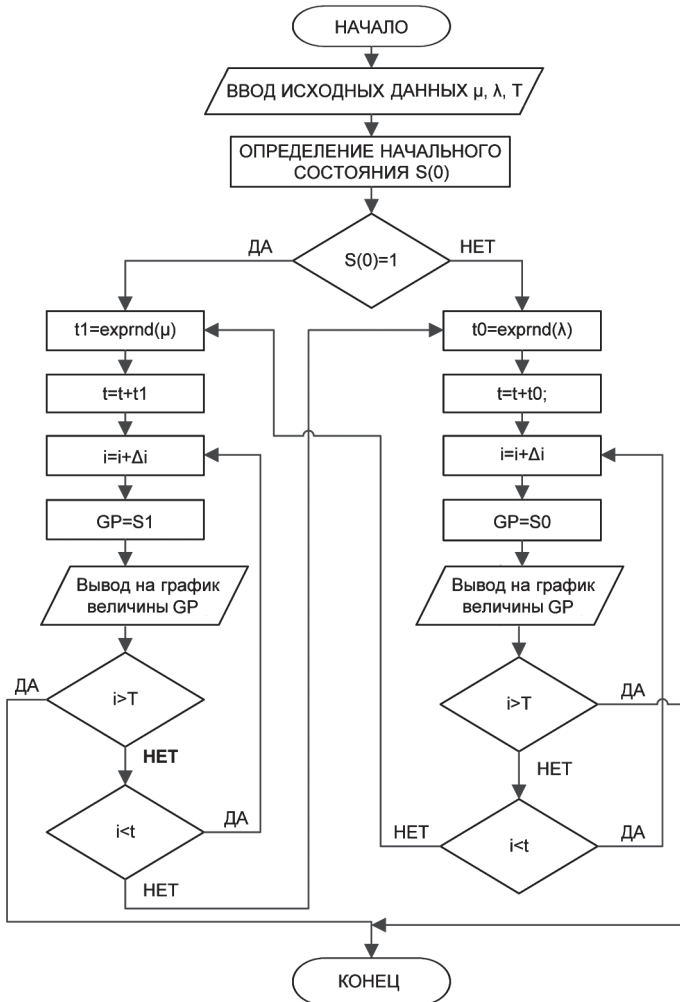


Рис. 5. Алгоритм моделирования грузопотока как процесса с двумя устойчивыми состояниями  
 Fig. 5. Algorithm of modeling of load flow as a process with two stable states

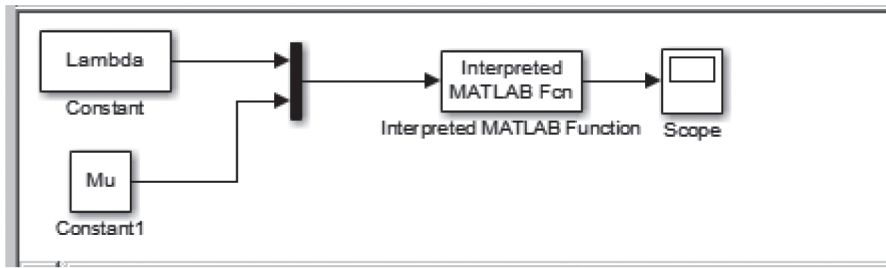


Рис. 6. Схема моделирования грузопотока в Simulink  
 Fig. 6. Load flow modeling in Simulink

Interpreted Matlab Fcn вызывается написанная в m-файле программа. Результаты моделирования представлены на рис. 7.

Наряду с исследованиями основных статистических характеристик отдельных грузопотоков различными авторами исследовались также суммарные грузопотоки, которые формируются на сборных конвейерах. Определялись вероятности одновременной работы различного количества лав с учетом случайного характера грузопотоков из отдельных забоев.

В работах [8, 10] рассмотрена задача определения характеристик суммарного грузопотока, которую можно решить аналитически, исходя из статистических свойств и характеристик забойных грузопотоков. Суммарный грузопоток  $Q_{\Sigma}(t)$ , формирующийся от добычных участков, представляет собой сумму забойных грузопотоков. Установлено, что каждый из потоков является ординарным и оказывает на суммарные грузопотоки статистически одинаковое влияние. Пусть на магистральный конвейер поступают два грузопотока с забойных конвейеров. Будем считать их независимыми, а поступление их в первом приближении — одновременным. Суммарный поток описывается случайной величиной

$$Q_{\Sigma}(t) = Q_1(t) + Q_2(t),$$

где  $Q_1(t)$  и  $Q_2(t)$  — потоки с первого и второго конвейеров соответственно. В этом случае математическое ожидание, дисперсия и корреляционная функция процесса просто удваиваются.

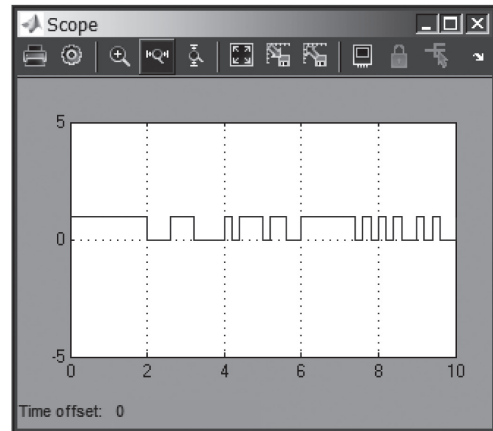


Рис. 7. Результаты моделирования грузопотока  
 Fig. 7. Load flow modeling results

Зависимость вероятностей состояний системы от времени теперь можно найти без решения уравнений Колмогорова. Практически важен случай, когда известно первоначальное состояние системы. Пусть, например,  $S_{\Sigma}(0) = 0$ , оба грузопотока отсутствуют. Тогда из элементарной теории вероятностей следует

$$p_0(t) = q_-^2(t), \quad p_1(t) = 2p_-(t)q_-(t),$$

$$p_2(t) = p_-^2(t).$$

Эти функции при  $t \rightarrow +\infty$  стремятся к предельным вероятностям:

$$P(0) = \frac{\mu^2}{(\lambda + \mu)^2}, \quad P(1) = \frac{2\lambda\mu}{(\lambda + \mu)^2},$$

$$P(2) = \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2}. \quad (6)$$

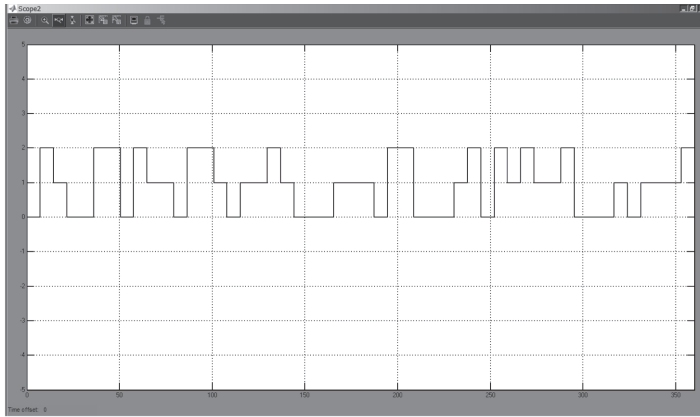


Рис. 8. Суммарный грузопоток, поступающий на магистральный конвейер из двух забоев  
 Fig. 8. Total load flow on main conveyor from from two longwalls

Для системы из конвейеров, в начальный момент полностью выключенной:

$$p_i(t) = C_n^i p_-^i(t) q_-^{n-i}(t). \quad (7)$$

В работах [8, 10] фиксировались основные параметры транспортной цепи: время поступления угля из лавы, длительность и причины перерывов, параметры грузопотока из лавы. При исследовании сборных ленточных конвейеров решалась задача оценки одновременной работы лав, возможного совпадения максимумов нагрузки, установления законов распределения суммарного грузопотока.

Исходные данные для дальнейшей работы взяты для сборного конвейера шахты «Распадская», на который поступает уголь из двух очистных забоев и двух подготовительных. Минутные грузопотоки сборных ленточных конвейеров колеблются от 1 до 14 т/мин. Неравномерность суммарного минутного грузопотока сборного ленточного конвейера по статистическим характеристикам мало отличается от неравномерности единичного минутного грузопотока из забоя. Средняя продолжительность совместной работы лав составляет около 115 мин или примерно 30% общего времени смены. Средняя продолжительность совместного поступления максимумов грузопотока 2,4 мин. Суммарная продолжительность

всех интервалов совместного поступления максимумов грузопотоков за смену составляет 10...11 мин. Наиболее вероятной является область длительности совмещения максимумов 1,5...2,5 мин.

Теперь проведем моделирование двух грузопотоков, поступающих на сборный конвейер. Пусть забойные грузопотоки идентичны. Данное допущение в последующих работах может быть снято достаточно просто, например, в m-файле, моделирующем второй грузопоток, нужно изменить параметры  $\mu$  и  $\lambda$ . Так как суммарный грузопоток  $Q(t) = 2$ , формирующийся от добычных участков, представляет собой сумму забойных грузопотоков, при моделировании нужно сложить выходные сигналы двух блоков Interpreted Matlab Fcn, каждый из которых имитирует работу одного забоя. Результаты моделирования представлены на рис. 8. Уровень соответствует поступлению угля из обеих выработок одновременно. Длительность одновременной работы обеих лав составляет 105 мин, то есть около 30% смены. Это соответствует и теоретическим расчетам и экспериментальным данным, полученным В.А. Пономаренко [8].

В статье исследован процесс формирования грузопотока на магистральном конвейере, на который поступает уголь с двух забойных конвейеров. Грузопоток на



каждом из забойных конвейеров представлен в виде марковского процесса, для которого решена система уравнений Колмогорова. В предположении независимости грузопотоков, поступающих на сборный конвейер, зависимость от времени вероятностей нахождения системы в различных состояниях найдена без решения уравнений Колмогорова для всей системы. Осуществлено моделирование в среде Matlab. Результаты теоретического анализа и моделирования близки

к экспериментально полученным, что позволяет говорить о возможности использования разрабатываемой модели для технологических расчетов (например, ширины ленты) и для синтеза управляющей системы, для синтеза управляющей системы, важность разработки которой обосновывается отечественными и зарубежными авторами [2, 17, 18], регулирующей скорость магистрального конвейера в зависимости от величины входного грузопотока.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bahke T. Dimensioning and application of belt conveyors with intermediate belt drive (T-T System) // Bulk Solids Handling. 1982. No 1. pp. 47–57.
2. Jennings A., Perrone P., Cornet J. Case study: correcting control problems on Essroc's multidrive station, horizontally curved conveyor // Transactions of the Society for Mining, Metallurgy and Exploration. 2013. Vol. 334. pp. 472–476.
3. Helix delta-T Horizontal Curves / Helix Technologies, 2017. URL: <http://www.helixtech.com.au/T6ConvHorizCurves.aspx> (дата обращения: 15.07.2017).
4. Pang Y., Lodewijks G. Pipe belt conveyor statics – Comparison of simulation results and measurements // Bulk Solids Handling. 2013, No 1, pp. 52–56.
5. Мерцалов Р. В. Исследования подземных грузопотоков и установление способов повышения эффективности использования шахтных конвейеров. Диссертация на соискание ученой степени к. т. н. – М., 1968.
6. Шахмейстер Л. Г., Дмитриев В. Г., Лобачева А. К. Динамика грузопотоков и регулирование скорости ленточного конвейера. – М.: изд. МГИ, 1974. – 45 с.
7. Брагин В. В., Шевелев А. Л., Ларичкин Л. Д. Формирование грузопотоков угля из комплексно-механизированных забоев // Сборник научных трудов ассоциации «Кузбасуглетехнология». – 1992. – № 5. – С. 16–29.
8. Пономаренко В. А. Научные основы определения резервов пропускной способности и оптимизация систем подземного транспорта угольных шахт. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Донецк, 1965.
9. Кондрахин В. П., Стадник Н. И., Белицкий П. В. Статистический анализ эксплуатационных параметров шахтного ленточного конвейера // Сборник научных трудов Донецкого национального технического университета. – 2013. – вып. 2(26). – С. 140–150.
10. Прокуда В. М., Мишанский Ю. А., Проценко С. Н. Исследование и оценка грузопотоков на магистральном конвейерном транспорте ПСП «Шахта «Павлоградская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» // Горная электромеханика. – 2012. – № 88. – С. 107–111.
11. Дмитриева В. В. Разработка и исследование системы автоматической стабилизации погонной нагрузки магистрального конвейера. Диссертация на соискание ученой степени канд. тех. наук. – М., 2005. – 162 с.
12. Дмитриева В. В., Полякова Т. Ю. Моделирование случайного шахтного грузопотока в ППП Matlab. – М.: Изд-во «Горная книга», 2009. – 27 с.
13. Попова А. А. Моделирование технологического процесса с двумя устойчивыми состояниями. – Диссертация на соискание звания магистр техники и технологий. – М., 2013. – 62 с.
14. Дьяченко В. П. Методы описания величины случайного грузопотока ленточных конвейеров горных предприятий на основе ее эмпирических распределений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 3. – С. 287–289.
15. Вентцель А. Д. Курс теории случайных процессов. – М.: Наука, 1996. – 400 с.
16. Дмитриев В. Г., Вержанский А. П. Основы теории ленточных конвейеров. – М.: Горное машиностроение, 2017. – 592 с.

17. Dmitrieva V. V., Pevzner L. D. System of automatic stabilization of mining belt-conveyor load // Fifth International Conference on Computer Applications in the minerals Industries, CAMI 2005.

18. Галкин В. И., Дмитриев В. Г., Дьяченко В. П., Запенин И. В., Шешко Е. Е. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. — М.: Изд-во «Горная книга», 2011. — 545 с. **ПЛАТ**

### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Дмитриева Валерия Валерьевна — кандидат технических наук, доцент, e-mail: dm-valeriya@yandex.ru, РГУ Нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Сизин Павел Евгеньевич — кандидат физико-математических наук, доцент, e-mail: mstranger@list.ru, ИБО НИТУ «МИСиС».

---

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 10, pp. 145–155.

### Correlation analysis and method of modeling random load flow on collecting conveyor

Dmitrieva V.V., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), 119991, Moscow, Russia, e-mail: dm-valeriya@yandex.ru,

Sizin P.E., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor, Institute of Basic Education, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: mstranger@list.ru.

**Abstract.** Under consideration is the problem on coal flow from two independent longwall conveyors on the main collecting conveyor. The mathematical description presents the load flow on the conveyor as a random Markov process. In this case, the absence and presence of load can be called “states of the system”, and it is possible to obtain time dependence of the probabilities of these states of the study object. In this article, the problem is solved using the system of Kolmogorov’s equations. Discrete mine load flow was modeled by a few methods in MatLab, and advantages and deficiencies of each methods were assessed. The scope of modeling embraced identical flows, and the article presents the method to remove this constrain. Total load flow is modeled. The results are applicable in the synthesis of a control system to adjust the speed of the main conveyor depending on the size of the inlet load flow. The belt speed adjustment will enable more efficient usage of conveying transport owing to reduction in time of no-load run and in ware of parts.

**Key words:** belt conveyor, random Markov process, stochastic load flow, modeling, probabilistic characteristics.

---

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-145-155

### REFERENCES

1. Bahke T. Dimensioning and application of belt conveyors with intermediate belt drive (T-T System). *Bulk Solids Handling*. 1982. No 1. pp. 47–57.
2. Jennings A., Perrone P., Cornet J. Case study: correcting control problems on Essroc’s multidrive station, horizontally curved conveyor. *Transactions of the Society for Mining, Metallurgy and Exploration*. 2013. Vol. 334. pp. 472–476.
3. Helix delta-T Horizontal Curves. *Helix Technologies*, 2017. URL: <http://www.helixtech.com.au/T6ConvHorizCurves.aspx> (дата обращения: 15.07.2017).
4. Pang Y., Lodewijks G. Pipe belt conveyor statics — Comparison of simulation results and measurements. *Bulk Solids Handling*. 2013, No 1, pp. 52–56.
5. Mertsalov R. V. *Issledovaniya podzemnykh gruzopotokov i ustanovlenie sposobov povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya shakhtnykh konveyerov* [Study of underground freight traffics and finding ways to improve the efficiency of use of mining conveyors], Candidate’s thesis, Moscow, 1968.
6. Shakhmeyer L. G., Dmitriev V. G., Lobacheva A. K. *Dinamika gruzopotokov i regulirovanie skorosti lentochnogo konveyera* [Dynamics of freight traffic and regulating of the speed of a belt conveyor], Moscow, izd. MGI, 1974, 45 p.
7. Bragin V. V., Shevelev A. L., Larichkin L. D. Formirovanie gruzopotokov uglya iz kompleksno-mekhanizirovannykh zaboev [Formation of coal freight traffic from a fully mechanized faces]. *Sbornik nauchnykh trudov assotsiatsii «Kuzbasugletekhnologiya»*. 1992, no 5, pp. 16–29. [In Russ].

8. Ponomarenko V.A. *Nauchnye osnovy opredeleniya rezervov propusknoy sposobnosti i optimizatsiya sistem podzemnogo transporta ugol'nykh shakht* [Scientific bases of determination of reserves bandwidth and optimization of systems of underground transport in coal mines], Doctor's thesis, Donetsk, 1965.

9. Kondrakhin V.P., Stadnik N.I., Belitskiy P.V. Statisticheskiy analiz ekspluatatsionnykh parametrov shakhtnogo lentochnogo konveyera [Statistical analysis of the exploitation parameters of the mine band conveyor]. *Sbornik nauchnykh trudov Donetskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta*. 2013, issue 2(26), pp. 140–150. [In Russ].

10. Prokuda V.M., Mishanskiy Yu.A., Protsenko S.N. Issledovanie i otsenka gruzopotokov na magistral'nom konveyernom transporte PSP «SHakhta «Pavlogradskaya» PAO «DTEK Pavlogradugol'» [Investigation and evaluation of the freight traffic on the magistral conveyor transport of the PSP «Mine «Pavlogradskaya» PAO «DTEK Pavlogradugol'»]. *Gornaya elektromekhanika*. 2012, no 88, pp. 107–111. [In Russ].

11. Dmitrieva V.V. *Razrabotka i issledovanie sistemy avtomaticheskoy stabilizatsii pogonnoy nagruzki magistral'nogo konveyera* [Development and research of the system of automatic stabilization of linear load of the main conveyor], Candidate's thesis, Moscow, 2005, 162 p.

12. Dmitrieva V.V., Polyakova T.Yu. *Modelirovanie sluchaynogo shakhtnogo gruzopotoka v PPP Matlab* [Modelling of random mining traffic in AP Matlab], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2009, 27 p.

13. Popova A.A. *Modelirovanie tekhnologicheskogo protsessa s dvumya ustoychivymi sostoyaniyami* [Modelling of technological process with two stable states], Master of technology's thesis, Moscow, 2013, 62 p.

14. D'yachenko V.P. Metody opisaniya velichiny sluchaynogo gruzopotoka lentochnykh konveyerov gornyykh predpriyatiy na osnove ee empiricheskikh raspredeleniy [Methods of describing of the random freight traffic value of the band conveyors of mining enterprises on the basis of its empirical distributions]. *Gornyy informatsionno-analiticheskyy byulleten'*. 2007, no 3, pp. 287–289. [In Russ].

15. Venttsel' A.D. *Kurs teorii sluchaynykh protsessov* [Course in the theory of random processes], Moscow, Nauka, 1996, 400 p.

16. Dmitriev V.G., Verzhanskiy A.P. *Osnovy teorii lentochnykh konveyerov* [Grounds of the belt conveyor theory], Moscow, Gornoe mashinostroenie, 2017, 592 p.

17. Dmitrieva V.V., Pevzner L.D. System of automatic stabilization of mining belt-conveyor load. *Fifth International Conference on Computer Applications in the Minerals Industries*, CAMI 2005.

18. Galkin V.I., Dmitriev V.G., D'yachenko V.P., Zapenin I.V., Sheshko E. E. *Sovremennaya teoriya lentochnykh konveyerov gornyykh predpriyatiy* [Modern theory of the belt conveyors of mining enterprises], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2011, 545 p.



---

## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

---

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЕОЛОГО-МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ (2018, № 6, СБ 27, 124 с.)

*Коллектив авторов*

Представлены статьи, посвященные вопросам комплексного решения широкого круга геологических, экологических, образовательных, маркшейдерских и технологических задач, встречающихся в практике работы горнодобывающих предприятий, научных и проектных организаций. Рассмотрены преимущества современных технологий с применением GNSS-приемников, наземных лазерных сканеров, беспилотных летательных аппаратов для решения задач маркшейдерии на производстве, представлена разработка для оперативного учета объемов в крытых складах, описана методика маркшейдерского сопровождения проведения наклонных восстающих, возможности применения программных комплексов Carlson Software и MineFrame, рассмотрены вопросы выявления техногенных и природных объектов по данным дистанционного зондирования Земли, комплексной оценки экологических рисков горнодобывающих предприятий Байкальского региона, современное состояние маркшейдерско-геодезических специальностей в системе образования и новые методы учебного процесса.

### IMPROVEMENT OF GEOLOGICAL AND SURVEYING WORKS IN SERVICE OF MINING COMPANIES

*Team of authors*

The collection presents articles on the complex solutions of a wide range of geological, environmental, educational, surveying and technological problems encountered in the practice of mining enterprises, scientific and design organizations. The advantages of modern technologies with the use of GNSS-receivers, ground-based laser scanners, unmanned aerial vehicles to solve the problems of mine surveying in production, the development for the operational accounting of volumes in covered warehouses, describes the method of surveying support of inclined rebels, the possibility of using software systems Carlson Software and MineFrame, considers the identification of man-made and natural objects according to remote sensing of the Earth, comprehensive assessment of environmental risks of mining enterprises of the Baikal region, as well as the current state of surveying and surveying specialties in the education system and new methods of the educational process.